

外92-63

早稲田大学大学院理工学研究科

1963

博士論文概要

論文題目

電力系統の需給運用に関する研究

申請者

白井 五郎

Goro Shirai

平成 5 年 2 月

理 1676 (1963)

現代社会の根幹をなす電力エネルギーを供給支障なく高品質で、かつ経済的に発電端から需要端まで伝送することは電力システム運用の重要な課題である。

最近は電源の偏在化、集中化、遠隔化、並びに負荷の集中化、多様化等のため、送電網を流れる電力は時間帯毎に大きく変動し、朝夕、昼間の負荷急変時には連系線に特異な潮流が現れ、その解消に苦慮している。今後、北米の電力系統に見られるように経済的融通のため地域間を流れる電力エネルギーは以前にも増して増加することが我国でも予想され、地域間の電力動搖は更に拡大すると思われる。

電力動搖の抑制は周波数並びに連系線潮流の安定化をもたらし、連系線の利用率向上、発電機の高効率運用並びに質の向上に関連している。この動搖を抑制する需給制御として、従来、FFC(Flat Frequency Control)、TBC(Tie-line Bias Control)が多くの電力システムに適用されてきた。しかしながら、近年、系統規模の拡大と共に上述のような問題が生じてきているが現状である。

本研究でこのような状況にある電力システムの運用を集中並びに分散形運用形態の立場から検討し、高度に複雑化された電力システムの需給運用に対し基礎運用技術を確立することを目的としている。

第1章では、電力系統運用の目的を明らかにし、この目的を果たすために、現在、電力系统においてどのような運用形態が採られているかを述べている。また、電力系統運用の中心的課題として取り上げられてきた自動化と信頼度制御について言及し、自動化に際して、従来、運用上の立場から採られてきた階層形集中・分散制御方式の役割を述べ、本研究で述べる需給運用との関連を示している。

第2章では、まず、大規模電力システムの需給運用方式の構築に大きな影響を及ぼす電源構成の比率(火力、水力、原子力等)、ネットワーク構成、情報通信網等について述べ、次に、広域運用の立場から需給運用を効果的に実施すべく、大連系電力システムの分割・統合の必要性について述べている。また、第4章の分散形制御方式の基礎理論である、ネットワーク分散とハイアラーキ分散についても言及している。更に、これらの分散形制御方式を現実の電力システムに適用する際に問題となる懸案について考察している。

第3章では、現行のTBC制御方式では電力システム規模の拡大と共に生じてきた連系線潮流の増大化並びに電力エネルギーの質の改善に限界を生じていることを勘案し、現代制御理論に基づいた集中形の各種のLFC(Load Frequency Control)：

- (イ) サーボ形最適制御理論に基づく集中形のLFC
- (ロ) 出力フィードバックによるLFC
- (ハ) 外乱推定型のリアプロノフ関数を用いたLFC

の構築を行い、現行のTBCの場合と応答比較を行っている。何れの方式も優れた特性を示すが、特に(イ)はタービン発電機等の応答速度に制約条件がなければ極めて優れている。しかしながら、(イ)の実施化のためには全状態変数の観測が必要であることと、現在の発電機の応答速度の範囲内ではTBCに較べて、格段の応答特性の改善は望めない。しかしながら、この方法はSCADA(Super-visory Control and Data Acquisition)システムの発展並びにボイラ、タービンの応答特性の改善と共に有力なLFC方式に成り得るものである。(ロ)の特長は実現化に対して観測し易いデータだけを選定できる点にある。(ロ)の制御方式はTBCの併用を前提とし、その応答の改善を試みている。TBCと同じ観測量でも当然、TBCに比べ優れた応答を示す。周波数および連系線潮流以外の観測量をフィードバックすると外乱推定機構が必要になる。(ハ)では(イ)及び(ロ)が積分形フィードバック形式を探っているのに對して外乱推定を行い積分動作を省いている。この方法は速応性を高めることが出来ると同時に人力操作量に容易に上下限の拘束値を付け得る利点があるが、(イ)と同様、全状態変数の観測を必要とする。

本章で示した制御方式は何れも安定性が保証された優れた制御方式であるが、集中型であるため、他地域の観測データを必要とし、現行の運用体系では実現化に対して解消すべき問題が残されている。従って、現行の電力システム運用体系の下では第4章で提案している分散形制御方式とせざるを得ない、としている。

第4章は分散形の需給運用について述べている。実際の電力システムは見かけ上は有機的な一つの大連系系統として運転されているが、実際にはそれぞれが独立したサブシステムの連合体として運用されている。第4章ではこの現行の運用形態をベースに、各地域の需給調整用発電所は自地域より入手できる観測量だけを用いることができる、とした場合の需給運用の構築を試みている。

第4.1節ではTBCをベースとした分散形の出力フィードバック形LFCの構築を試みている。制御方式としては第2章で述べたネットワーク形分散に属する制御方式である。数値例として、(イ)現用のTBCと同じ観測量の場合、(ロ)観測量を現実のTBCより増やした場合について検討している。

(イ)の場合、提案する方式は実際に使われている積分ゲインの大きさの範囲で、応答はTBCに較べて良好であることが示されている。また、観測量を増すと応答は滑らかになるが、外乱推定機構を加えなければならない。

第4.2節では計算の順序を考慮した方法で、システム全体の安定性を保証した場合の出力フィードバックによる分散形LFCについて述べている。この方法によればシステム全体の安定性は保証されるが、各地域間でデータの授受が必要になる。

第4.3節では第2章で述べたハイアラーキ形分散制御理論をベースとした地

域分割形の LFC の構築並びに観測量の組み合わせの違いによる応答特性の差異について述べている。この方式の利点は各地域を連系線で分割するため、扱うべきシステム行列が小さく、系統規模の大きさについては問題なく、拡張性に富んでいる。しかしながら、分割された地域によっては可制御性を失うという問題があり、可制御性回復のための工夫が必要になる。本研究では隣接地域の入手容易な状態量の一部を用いて可制御性を回復している。

第 4. 4 節では、EDC (Economical load Dispatching Control) と LFC の機能を含めたサーボ形最適理論に基づくネットワーク分散形の自動発電制御方式の構築を行っている。この方式の有用性を示すためには実際の電力システムで観測されているスペクトル密度を持つ電力需要変動を模擬する必要がある。これを正規形乱数を用いて発生させ、各地域が LFC 発電所一カ所と EDC 発電所二カ所よりなる 3 地域システムについて、シミュレーションを行っている。時々刻々と変動する需要変動に対し、EDC 発電所は長周期成分を、LFC 発電所は短周期成分を効果的に吸収し、この方式の有効性を確認している。ここでは收めるべき周波数変動、連系線潮流偏差の許容値が与えられたときの積分ゲインの大きさと外乱予測時間の長さに関する設計の指針も与えている。

まとめでは、出力フィードバック法、ハイアラーキ形分散制御並びにネットワーク形分散制御に基づく LFC と EDC を統一した自動発電制御について、それぞれの方式の特徴並びに実系統に適用する場合の問題点を考察している。

第 5 章では、第 3 章、第 4 章で提案した制御方式は主として線形理論の立場から検討してきたものであるが、実際には朝夕のように負荷変化が急激な場合、発電機の出力変化速度は上下限値に掛かり、非線形要素の導入の下での応答特性は重要である。このような状況を想定して、タービン発電機に増加率制約を設け応答特性の検討を行っている。増加率制約は需給調整に関わっている火力、水力の特性を考慮し、現実的な値である $0.05 \sim 0.1 \text{ pu MW}/\text{分}$ について検討し、実際的な積分ゲインの大きさであれば問題がないことが示されている。また、前章まで検討してきた需給制御は主として連続時間制御であるが、現在、制御系は離散時間制御へと移行している。そこで、本研究では連続時間形から離散時間形へ容易に変換できるディジタル再設計を導入し、連続時間形制御を離散形の制御方式に変換し、種々のサンプリング時間についてその応答を検討している。合わせて増加率制約を含めた場合についても検討している。その結果、本研究で述べてきた連続形の需給制御方式は容易に離散形のそれに変換でき、実用的にも問題のないことが示されている。

第 6 章は本研究のまとめである。本研究で得られた成果と提案を要約すると共に今後の課題を展望している。